William Stallings
Computer Organization and Architecture
8th Edition

Chapter 3
Avaliação de Desempenho

Clock do sistema

- Cristal de Quartzo envia onda de sinais constantes que são convertidas em sinais digitais
- 1GHz = 1 bilhão de pulsos
- Taxa de pulsos = taxa de clock
- Incremento de clock = ciclo de clocks
- Tempo entre pulsos = tempo de ciclos

Taxa de Execução de Instrução

- Processador é controlado por um clock com freqüência constante f ou, de modo equivalente, um tempo de ciclo constante τ, onde $\tau = 1/f$.
- Contagem de instruções **Ic** é o número de instruções de máquinas, executadas, até que um determinado programa rode até o fim ou por algum interval de tempo específico. (Obs.:nº de execuções de instrução e não nº de instruções no código)

Taxa de Execução de Instrução

- CPI ➔ Média de ciclos por instrução
- Se todas as instruções exigiessem o mesmo número de ciclos de clock, CPI seria valor constante para o processador.
- Na realidade, esse valor varia para cada tipo de instrução (load, store, etc.)

Taxa de Execução de Instrução

- CPIi é o número de ciclos exigidos para a instrução tipo i e Ii o número de instruções executadas do tipo i para determinado programa.

$$CPI = \frac{\sum_{i=1}^{n}(CPI_i \times I_i)}{I_c}$$

CPI - Média de Ciclos por instrução no conjunto
Ic - Total de Instruções do conjunto
Ii - Parcial de Intruções que levam a mesma quantidade de ciclos para executar
CPIi - Quantidade de ciclos que um grupo leva pra executar

Taxa de Execução de Instrução

- O tempo de processador, T, necessário para executar determinado programa pode ser expresso como:

$$T = I_c \times CPI \times \tau^{(1/f)}$$

T - Tempo de processador pra rodar o conjunto todo
Ic - Total de Instruções
CPI - Média de ciclos por instrução do conjunto
t - Tempo do ciclo de clock do processador

f = 1 / t
t = 1 / f

Fatores de Desempenho e Atributos do Sistema

- Como parte do trabalho é feito pelo processador e parte do trabalho é feito em transferências de dados para a memória, cujo tempo de ciclo pode ser maior que o do processador, a equação pode ser reescrita:

$$T = I_c \times [p + (m \times k)] \times \tau$$

- Onde, p é o número de ciclos de processador necessários para decodificar e executar a instrução, m é o número de referências de memória necessárias e k razão entre o tempo de ciclo de memória e o tempo de ciclo do processador.

	Ic	p	m	k	τ
Arquitetura do conjunto de instruções	X	X			
Tecnologia do compilador	X	X	X		
Implementação do processador		X			X
Hierarquia da cache e da memória				X	X

* Arquitetura do conjunto de instruções ➔ Projeto do conjunto de instruções

Milhões de Instruções por Segundo

$$MIPS = \frac{I_c}{T \times 10^6} = \frac{f}{CPI \times 10^6}$$

$$T = I_c \times CPI \times \tau$$

$$\frac{T}{I_c} = CPI \times \tau \qquad \text{(Cruzando)}$$

$$\frac{I_c}{T} = \frac{1}{CPI \times \tau} \qquad f = 1 / \tau$$

$$\frac{I_c}{T} = \frac{f}{CPI}$$

Exemplo

- Considere a execução de um programa que resulta na execução de 2 milhões de instruções num processador 400MHz. O programa consiste em quatro tipos principais de instruções, de acordo com a tabela abaixo:

Tipo de Instrução	CPI	Número de Instruções (%)
Aritmética e Lógica	1	60%
Load/Store com acerto de cache	2	18%
Desvio	4	12%
Referência de memória com falha de cache	8	10%

Exemplo

Ic = 2000000 Instruções – f = 400 x 10^6 Hz

CPI1 = 1 – I1 = 0,60 x 2000000 = 1200000
CPI2 = 2 – I2 = 0,18 x 2000000 = 360000
CPI3 = 4 – I3 = 0,12 x 2000000 = 240000
CPI4 = 8 – I4 = 0,10 x 2000000 = 200000

$$CPI = \frac{(1\ x\ 1200000) + (2\ x\ 360000) + (4\ x\ 240000) + (8\ x\ 200000)}{2000000}$$

$$CPI = 2{,}24\ Ciclos\ por\ instrução$$

$$T = Ic\ x\ CPI\ x\ \frac{1}{f}$$

$$T = 2000000\ x\ 2{,}24\ x\ \frac{1}{400\ x\ 10^6}$$

$$T = 0{,}0112\ s$$

$$T = 11{,}2\ ms$$

$$MIPS = \frac{f}{CPI\ x\ 10^6}$$

$$MIPS = \frac{400\ x\ 10^6}{2{,}24\ x\ 10^6}$$

$MIPS \cong 178\ milhões\ de\ instruções\ por\ segundo$

$$BIPS = \frac{f}{CPI\ x\ 10^9}$$

$$BIPS = \frac{400\ x\ 10^6}{2{,}24\ x\ 10^9}$$

$BIPS \cong 0{,}18\ bilhões\ de\ instruções\ por\ segundo$

Exemplo

Ic = 2000000 Instruções – f = 400 x 10^6 Hz

CPI1 = 1 – I1 = 0,60
CPI2 = 2 – I2 = 0,18
CPI3 = 4 – I3 = 0,12
CPI4 = 8 – I4 = 0,10

$$CPI = (1\ x\ 0{,}60) + (2\ x\ 0{,}18) + (4\ x\ 0{,}12) + (8\ x\ 0{,}10)$$

$$CPI = 2{,}24\ Ciclos\ por\ instrução$$

$$T = Ic\ x\ CPI\ x\ \frac{1}{f}$$

$$T = 2000000\ x\ 2{,}24\ x\ \frac{1}{400\ x\ 10^6}$$

$$T = 0{,}0112\ s$$

$$T = 11{,}2\ ms$$

$$MIPS = \frac{f}{CPI\ x\ 10^6}$$

$$MIPS = \frac{400\ x\ 10^6}{2{,}24\ x\ 10^6}$$

$$MIPS \cong 178\ milhões\ de\ instruções\ por\ segundo$$

$$BIPS = \frac{f}{CPI\ x\ 10^9}$$

$$BIPS = \frac{400\ x\ 10^6}{2{,}24\ x\ 10^9}$$

$$BIPS \cong 0{,}18\ bilhões\ de\ instruções\ por\ segundo$$

Lei de Amdahl

- Alguns exemplos de melhoria de desempenho de computadores passam pelo uso de processadores paralelos, hierarquia de cache e speedup no tempo de acesso da memória e na taxa de transferência de E/S
- A Lei de Amdahl, proposta por Gene Amdahl lida com o potencial de speedup de um programa usando múltiplos processadores em comparação com um único processador.

Lei de Amdahl

- Considere um programa rodando em um único processador, de modo que uma fração (1-f) do tempo de execução envolva um Código inerentemente serial e uma fração f envolva Código infinitamente paralelizável sem overhead de escalonamento. Considere que T seja o tempo de execução total do programa usando um único processador. Então, o speedup usando um processador paralelo com N processadores que explora totalmente a parte paralela do programa é como segue:

$$Speedup = \frac{Tempo\ para\ Executar\ Programa\ em\ um\ Único\ Processador}{Tempo\ para\ Executar\ Programa\ em\ N\ Processadores\ Paralelos}$$

$$Speedup = \frac{T(1-f)+Tf}{T(1-f)+\frac{Tf}{N}} = \frac{1}{(1-f)+\frac{f}{N}}$$

Lei de Amdahl

$$Speedup = \frac{1}{(1 - f) + \frac{f}{N}}$$

N – Número de processadores
f - % das instruções que podem rodar em paralelo
(1 – f) - % das instruções seriais

Lei de Amdahl

- Conclusões:
  - Se f for pequeno, o uso de processadores paralelos tem pouco efeito
  - Se N tende ao infinito, o speedup é limitado por 1/(1-f), de modo que existem retornos decrescentes para o uso de mais processadores.

Lei de Amdahl

- A Lei de Amdahl ilustra os problemas enfrentados pela indústria no desenvolvimento de máquinas Multicore com um número cada vez maior de processadores: o software que roda nessas máquinas, deve ser adaptado para um ambiente de execução altamente paralelo, para explorer o poder do processamento paralelo.

Lei de Amdahl

- Considere qualquer melhoria a um recurso de um Sistema que resulte num speedup o qual pode ser expresso por:

$$Speedup = \frac{Desempenho\ após\ melhoria}{Desempenho\ antes\ da\ melhoria} = \frac{Tempo\ de\ execução\ antes\ da\ melhoria}{Tempo\ de\ execução\ após\ melhoria}$$

- Suponha que o recurso do Sistema seja usado durante a execução de uma fração do tempo f, antes da melhoria, e que o speedup desse recurso, após a melhoria seja SU_f. Então, o speedup geral do sistema é:

$$Speedup = \frac{1}{(1-f) + \frac{f}{SU_f}}$$

Lei de Amdahl

$$Speedup = \frac{1}{(1-f) + \frac{f}{SU_f}}$$

f - % das instruções que podem rodar em paralelo

(1 – f) - % das instruções seriais

SU_f – Fator de melhoria computacional

Máquina Base ➔ $SU_f = 1$

Exemplo

- Suponha que uma tarefa utilize muitas operações de ponto flutuante com 40% do tempo sendo consumido por operações de ponto flutuante. Com um novo projeto de hardware, o modulo de ponto flutuante é agilizado por um fator K. Então, o speedup geral é:

$$Speedup = \frac{1}{(1 - 0{,}4) + \frac{0{,}4}{K}}$$

Exercício 1

- Considere a execução de um programa que resulta na execução de 10 milhões de instruções num processador 1,6GHz. O programa consiste em quatro tipos principais de instruções, de acordo com a tabela abaixo. Qual o CPI, T e MIPS (ou BIPS) ?

Tipo de Instrução	CPI	Número de Instruções (%)
Aritmética e Lógica	2	66%
Load/Store	4	14%
Desvio de processamento	6	12%
Referência de cache	16	8%

Exercício 1

Ic = 10000000 Instruções – f = 1,6 x 10^9 Hz

CPI1 = 2 – I1 = 0,66 x 10000000 = 6600000
CPI2 = 4 – I2 = 0,14 x 10000000 = 1400000
CPI3 = 6 – I3 = 0,12 x 10000000 = 1200000
CPI4 = 16 – I4 = 0,08 x 10000000 = 800000

$$CPI = \frac{(2\ x\ 6600000) + (4\ x\ 1400000) + (6\ x\ 1200000) + (16\ x\ 800000)}{10000000}$$

$$CPI = 3{,}88\ Ciclos\ por\ instrução$$

$$T = Ic\ x\ CPI\ x\ \frac{1}{f}$$

$$T = 10000000\ x\ 3{,}88\ x\ \frac{1}{1{,}6\ x\ 10^9}$$

$$T = 0{,}02425\ s$$

$$T = 24{,}25\ ms$$

$$MIPS = \frac{f}{CPI\ x\ 10^6}$$

$$MIPS = \frac{1{,}6\ x\ 10^9}{3{,}88\ x\ 10^6}$$

$$MIPS = 412{,}4\ milhões\ de\ instruções\ por\ segundo$$

$$BIPS = \frac{f}{CPI\ x\ 10^9}$$

$$BIPS = \frac{1{,}6\ x\ 10^9}{3{,}88\ x\ 10^9}$$

$$BIPS \cong 0{,}4\ bilhões\ de\ instruções\ por\ segundo$$

Exercício 1

Ic = 10000000 Instruções – f = 1,6 x 10^9 Hz

CPI1 = 2 – I1 = 0,66
CPI2 = 4 – I2 = 0,14
CPI3 = 6 – I3 = 0,12
CPI4 = 16 – I4 = 0,08

$$CPI = (2\ x\ 0{,}66) + (4\ x\ 0{,}14) + (6\ x\ 0{,}12) + (16\ x\ 0{,}08)$$

$$CPI = 3{,}88\ Ciclos\ por\ instrução$$

$$T = Ic\ x\ CPI\ x\ \frac{1}{f}$$

$$T = 10000000\ x\ 3{,}88\ x\ \frac{1}{1{,}6\ x\ 10^9}$$

$$T = 0{,}02425\ s$$

$$T = 24{,}25\ ms$$

$$MIPS = \frac{f}{CPI\ x\ 10^6}$$

$$MIPS = \frac{1{,}6\ x\ 10^9}{3{,}88\ x\ 10^6}$$

$$MIPS = 412{,}4\ milhões\ de\ instruções\ por\ segundo$$

$$BIPS = \frac{f}{CPI\ x\ 10^9}$$

$$BIPS = \frac{1{,}6\ x\ 10^9}{3{,}88\ x\ 10^9}$$

$$BIPS \cong 0{,}4\ bilhões\ de\ instruções\ por\ segundo$$

Exercício 2

- Considerando que o tempo de processador para executar o programa do exercício 1 seja 10μs, qual a contagem de Instruções Ic?

$$T = Ic\ x\ CPI\ x\ \frac{1}{f}$$

$$Ic = \frac{T\ x\ f}{CPI}$$

$$Ic = \frac{10\ x\ 10^{-6}\ x\ 1{,}6\ x\ 10^{9}}{3{,}88}$$

$$Ic\ \cong 4124\ Instruções$$

Exercício 3

- Suponha que uma tarefa utilize muitas operações de ponto flutuante com 35% do tempo sendo consumido por operações de ponto flutuante. Com um novo projeto de hardware, o modulo de ponto flutuante é agilizado por um fator 100. Então,o speedup geral é? Qual o speedup máximo?

$$Speedup_{Geral} = \frac{1}{(1-f) + \frac{f}{SU_f}}$$

$$Speedup_{Geral} = \frac{1}{(1-0{,}35) + \frac{0{,}35}{100}}$$

$$Speedup_{Geral} = 1{,}53$$

$$Speedup_{Max} = \frac{1}{(1-f) + \frac{f}{\infty}}$$

$$Speedup_{Max} = \frac{1}{(1-f)}$$

$$Speedup_{Max} = 1{,}54$$

Exercício 4

- Suponha que uma tarefa utilize muitas operações de ponto flutuante com 44% do tempo sendo consumido por operações de ponto flutuante. Qual o fator de agilidade necessário para um aumento de speedup de 17%?

$$Speedup = \frac{1}{(1-f) + \frac{f}{SU_f}}$$

$$(1-f) + \frac{f}{SU_f} = \frac{1}{Speedup}$$

$$\frac{f}{SU_f} = \frac{1}{Speedup} - (1-f)$$

$$\frac{1}{SU_f} = \frac{\frac{1}{Speedup} - (1-f)}{f}$$

$$SU_f = \frac{f}{\frac{1}{Speedup} - (1-f)}$$

$$SU_f = \frac{0{,}44}{\frac{1}{1{,}17} - 0{,}56}$$

$$SU_f \sim 1{,}5$$